

## Peramalan Bencana Alam di Kota Semarang dengan Menggunakan Markov Chains

Suci Ramadhani<sup>1</sup>, Surya Alenta Nababan<sup>2</sup>, Yasmin Azzahra<sup>3</sup>, Sisti Nadia Amalia<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Universitas Negeri Medan

Korespondensi penulis: [suciiirmdhni18@gmail.com](mailto:suciiirmdhni18@gmail.com)<sup>1</sup>

**Abstract.** Indonesia, as a country with complex geological conditions due to the convergence of various tectonic plates, is highly susceptible to natural disasters such as earthquakes, tsunamis, and volcanic eruptions. The city of Semarang, as the capital of Central Java Province, also frequently faces disasters such as floods, landslides, and earthquakes. Predicting the occurrence of natural disasters becomes crucial to mitigate the negative impacts they cause. This study uses the Markov chain method to predict natural disasters in the city of Semarang based on disaster data from 2018-2022. The prediction results indicate a 16% chance of floods, 34% chance of landslides, 10% chance of tornadoes, 22% chance of fires, and 17% chance of falling trees in 2023. Validation of the predictions against actual data for 2023 shows a relatively good match for floods and fires, but there are significant differences in the predictions for tornadoes and falling trees. These results indicate that the Markov chain method has potential in predicting disaster occurrences, but accuracy improvements are needed to account for weather variability and dynamic environmental factors. This research is expected to assist the government and society in enhancing disaster preparedness and mitigation in the future.

**Keywords:** Markov Chains, Forecasting, Natural Disasters

**Abstrak.** Indonesia, sebagai negara dengan kondisi geologi kompleks akibat pertemuan berbagai lempeng tektonik, sangat rentan terhadap bencana alam seperti gempa bumi, tsunami, dan letusan gunung berapi. Kota Semarang, sebagai ibu kota Provinsi Jawa Tengah, juga sering menghadapi bencana seperti banjir, tanah longsor, dan gempa bumi. Memprediksi kejadian bencana alam menjadi sangat penting untuk mengurangi dampak negatif yang ditimbulkan. Penelitian ini menggunakan metode rantai Markov untuk memprediksi bencana alam di Kota Semarang berdasarkan data bencana dari tahun 2018-2022. Hasil prediksi menunjukkan peluang banjir 16%, tanah longsor 34%, puting beliung 10%, kebakaran 22%, dan pohon tumbang 17% pada tahun 2023. Validasi prediksi terhadap data aktual tahun 2023 menunjukkan kesesuaian yang relatif baik untuk banjir dan kebakaran, namun terdapat perbedaan signifikan pada prediksi puting beliung dan pohon tumbang. Hasil ini menunjukkan bahwa metode rantai Markov memiliki potensi dalam memprediksi kejadian bencana, namun perlu peningkatan akurasi untuk memperhitungkan variabilitas cuaca dan faktor lingkungan yang dinamis. Penelitian ini diharapkan dapat membantu pemerintah dan masyarakat dalam meningkatkan kesiapsiagaan serta mitigasi bencana di masa mendatang.

**Kata kunci:** Markov Chains, Peramalan, Bencana Alam

### LATAR BELAKANG

Indonesia adalah negara yang memiliki struktur alam yang dibentuk oleh pertemuan berbagai lempeng tektonik. Hal ini menyebabkan wilayah Indonesia memiliki kondisi geologi yang sangat kompleks, membuat banyak daerah di negara ini rentan terhadap bencana alam seperti gempa bumi, tsunami, dan letusan gunung berapi. Bencana alam merupakan fenomena yang sulit dihindari dan diprediksi secara akurat. Menurut Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana Nomor 3 (2008), bencana adalah peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan serta penghidupan masyarakat, yang disebabkan oleh faktor alam, non-alam, atau faktor manusia, sehingga menimbulkan korban jiwa, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis.

Received: April 16, 2024; Accepted: Mei 12, 2024; Published: Juni 30, 2024

\*Suci Ramadhani, [suciiirmdhni18@gmail.com](mailto:suciiirmdhni18@gmail.com)

Kota Semarang, sebagai ibu kota Provinsi Jawa Tengah, kerap dihadapkan pada berbagai jenis bencana alam seperti banjir, tanah longsor, dan gempa bumi. Kondisi geografis dan iklim tropis yang dimiliki oleh kota ini berkontribusi pada tingginya risiko terjadinya bencana. Menurut Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kota Semarang, beberapa wilayah di kota ini memiliki kerentanan yang tinggi terhadap bencana, terutama selama musim hujan .

Memprediksi kejadian bencana alam menjadi sangat penting untuk mengurangi dampak negatif yang ditimbulkan. Salah satu metode yang efektif dalam memprediksi kejadian bencana adalah analisis rantai Markov. Metode ini memungkinkan analisis probabilistik dari perubahan status suatu sistem berdasarkan data historis, sehingga dapat digunakan untuk memodelkan transisi antara kondisi aman dan kondisi rawan bencana di berbagai wilayah .

Penggunaan Markov Chains dalam peramalan bencana alam telah banyak diterapkan dalam berbagai studi di Indonesia. Sebagai contoh, penelitian yang akan dilakukan oleh Rakhman dan Siregar (2018) menunjukkan efektivitas metode ini dalam memprediksi banjir di wilayah Jakarta. Studi ini menemukan bahwa model Markov dapat memberikan estimasi yang akurat mengenai frekuensi dan distribusi kejadian banjir, yang pada gilirannya membantu pihak berwenang dalam merencanakan Tindakan mitigasi.

Menurut Rakhman dan Siregar (2018), Markov Chains telah terbukti efektif dalam memprediksi frekuensi dan distribusi kejadian banjir di wilayah Jakarta. Penelitian mereka menunjukkan bahwa model Markov dapat memberikan estimasi yang akurat, sehingga membantu pihak berwenang dalam merencanakan Tindakan mitigasi yang lebih baik. Dengan dasar tersebut, penerapan metode ini di Kota Semarang diharapkan dapat memberikan hasil yang serupa.

Analisis rantai Markov berfokus pada probabilitas transisi dari satu kondisi ke kondisi lainnya, dengan asumsi bahwa status masa depan hanya bergantung pada status saat ini dan bukan pada sejarah transisi sebelumnya. Dalam konteks prediksi bencana alam, metode ini dapat membantu dalam mengidentifikasi pola-pola perubahan cuaca dan geologis yang mendahului terjadinya bencana. Dengan demikian, model rantai Markov dapat memberikan peringatan dini dan membantu dalam merencanakan tindakan mitigasi yang lebih efektif .

Penelitian ini bertujuan untuk mengaplikasikan metode rantai Markov dalam memprediksi kejadian bencana alam di Kota Semarang. Data historis tentang kejadian bencana yang dikumpulkan oleh BPBD dan Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) akan digunakan sebagai dasar untuk membangun model prediksi. Melalui analisis ini,

diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih baik mengenai pola kejadian bencana dan probabilitas terjadinya bencana di masa depan .

Pendekatan ini tidak hanya akan membantu pemerintah dan masyarakat dalam meningkatkan kesiapsiagaan terhadap bencana, tetapi juga memperkaya literatur mengenai aplikasi metode rantai Markov dalam prediksi bencana alam di Indonesia. Dengan demikian, penelitian ini berpotensi memberikan kontribusi yang signifikan dalam upaya pengurangan risiko bencana dan peningkatan ketahanan kota terhadap bencana alam.

## **KAJIAN TEORITIS**

### **Konsep Bencana Alam**

Bencana alam adalah peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan serta penghidupan masyarakat, yang disebabkan oleh faktor alam, non-alam, atau faktor manusia, sehingga menimbulkan korban jiwa, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis ([Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana Nomor 3 (2008)]).

### **Kerentanan Bencana di Kota Semarang**

Kota Semarang memiliki kerentanan yang tinggi terhadap bencana, terutama selama musim hujan ([BPBD Kota Semarang]). Faktor-faktor yang berkontribusi terhadap kerentanan ini termasuk kondisi geografis, iklim tropis, dan kepadatan penduduk.

### **Metode Rantai Markov**

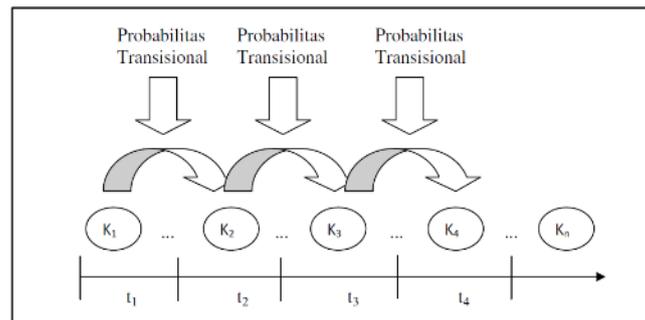
Metode rantai Markov adalah metode probabilistik yang digunakan untuk memodelkan transisi antara berbagai kondisi. Metode ini telah digunakan dalam berbagai bidang, termasuk prediksi keuangan, analisis cuaca, dan prediksi bencana alam ([Nawang Sari, Iklima, & Wbowo, 2021]).

### **Aplikasi Metode Rantai Markov dalam Prediksi Bencana Alam**

Metode rantai Markov telah terbukti efektif dalam memprediksi kejadian bencana alam di berbagai wilayah. Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa metode ini dapat digunakan untuk memprediksi jenis bencana, waktu terjadinya, dan tingkat keparahannya ([Hidayati, Pungkasanti, & Wakhidah, 2021]; [Ramadhan & Prihandoko, 2019]).

Rantai Markov adalah teknik matematika yang digunakan untuk memodelkan berbagai sistem dan proses bisnis. Teknik ini ditemukan oleh A.A. Markov pada tahun 1906. Markov menjelaskan bahwa probabilitas kejadian masa depan hanya bergantung pada kejadian sebelumnya dan tidak bergantung pada kejadian-kejadian sebelumnya. Dengan kata lain, "Untuk setiap waktu  $t$ , ketika kejadian adalah  $K_t$  dan seluruh kejadian sebelumnya adalah

$Kt(j), \dots, Kt(j - n)$  yang terjadi dari proses yang diketahui, kemungkinan seluruh kejadian yang akan datang  $Kt(j)$  hanya bergantung pada kejadian  $Kt(j - 1)$  dan tidak bergantung pada kejadian  $Kt(j - 2), Kt(j - 3), \dots, Kt(j - n)$ ." Gambar 1 kemudian menunjukkan gambaran rantai Markov ini. Dengan demikian, gerakan variabel tertentu di masa depan dapat diprediksi dengan menggunakan gerakan variabel sebelumnya. Kejadian  $Kt4$  dipengaruhi oleh  $Kt3, Kt3$  dipengaruhi oleh  $Kt2$ , dan demikian seterusnya. Perubahan ini terjadi karena peran probabilitas transisi, atau probabilitas transisi. Misalnya, kejadian  $Kt2$  tidak akan mempengaruhi  $Kt4$ .



**Gambar 1. Peristiwa dalam Rantai Markov**

Semua hal atau kejadian di atas bersifat berulang. Oleh karena itu, teori ini dikenal sebagai "Rantai Markov". Teori ini menjelaskan bagaimana gerakan beberapa variabel dalam waktu yang akan datang akan didasarkan pada gerakan variabel tersebut saat ini. Bisa ditulis secara matematis :

$$Kt(j) = P \times Kt(j - 1)$$

Dimana :

$Kt(j)$  = peluang kejadian pada  $t(j)$

$P$  = Probabilitas Transisional

$t(j)$  = waktu ke- $j$

Peluang kejadian  $Kt(j)$  dinyatakan ke dalam bentuk vektor sehingga jumlah seluruh sel nya akan selalu 100%.

### Langkah-langkah Rantai Markov

Untuk menentukan kemungkinan masa depan, langkah-langkah berikut digunakan dalam rantai markov:

1. Membuat matriks transisi dari probabilitas yang telah diketahui
2. Kalikan probabilitas waktu sebelumnya dengan matriks transisi
3. Lakukan langkah 1 dan 2 sampai Anda menemukan probabilitas yang dicari.

**Asumsi-asumsi Rantai Markov**

Dalam analisis rantai Markov:

1. Probabilitas transisi suatu kejadian adalah 1,
2. Peluang transisi hanya bergantung pada peluang kejadian sekarang dan tidak pada peluang kejadian masa lalu.
3. Nilai peluang transisi tidak berubah.

**Root Mean Square Error (RMSE)**

RMSE adalah metrik akurasi yang menggambarkan kesesuaian rata-rata antara nilai perkiraan dan nilai pengamatan secara individual. Dalam metrik ini, model prediksi dianggap paling akurat jika nilai RMSE sama dengan 0 (nol). Selain itu, penelitian ini juga memanfaatkan metode koefisien korelasi. Koefisien korelasi adalah pengukuran statistik yang menunjukkan kovarian atau hubungan antara dua variabel. Kriteria untuk mengkategorikan hubungan antara dua variabel dapat dijelaskan melalui persamaan berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}}$$

$$R = \frac{\Sigma xy}{\sqrt{\Sigma x^2 - \Sigma y^2}}$$

**METODE PENELITIAN**

Markov Chains, atau yang sering disebut Rantai Markov, adalah teknik matematika yang umum digunakan untuk memodelkan berbagai sistem dan proses bisnis. Teknik ini sering digunakan untuk memperkirakan perubahan di masa depan secara matematis dan dinamis. Markov Chains memungkinkan pemodelan sistem dinamis, yaitu sistem yang keadaannya berubah seiring waktu. Sebagai proses stokastik, peristiwa yang akan datang hanya bergantung pada kejadian saat ini dan tidak dipengaruhi oleh kejadian masa lalu. Dalam proses stokastik, setiap transisi atau perpindahan keadaan ditentukan oleh probabilitas. Perubahan dari satu kejadian ke kejadian lain atau tetap pada kondisi saat ini bergantung pada distribusi probabilitas yang ada. Perubahan ini disebut transisi, dan probabilitas yang terkait disebut probabilitas transisi. Semua kejadian saat ini dapat mempengaruhi perubahan kejadian di masa depan. Untuk merumuskan Markov Chains dari suatu peristiwa, ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi, yaitu:

1. Dalam satu rangkaian kejadian awal sampai kejadian akhir, jumlah probabilitasnya sama dengan 1.
2. Jika terdapat beberapa partisipan dalam sistem, probabilitas ini juga berlaku untuk semuanya, yang berarti semua partisipan memiliki total probabilitas kejadian dari awal hingga akhir yang sama dengan 1.
3. Probabilitas transisi tetap konstan sepanjang waktu.
4. Keadaan (state) bersifat independent sepanjang waktu.

Proses markov akan menuju kondisi steady state (keseimbangan), yang berarti setelah beberapa periode, peluang status akan tetap. Rantai Markov Chains menunjukkan bahwa pergerakan variabel di masa depan dapat diprediksi berdasarkan pergerakan variabel tersebut di masa lalu. Misalnya, kejadian  $K_{t(4)}$  dipengaruhi oleh kejadian  $K_{t(3)}$ ,  $K_{t(3)}$  dipengaruhi oleh kejadian  $K_{t(2)}$  dan seterusnya. Perubahan ini terjadi karena peranan probabilitas transisi (transition probability). Sebagai contoh, kejadian  $K_{t(2)}$ , tidak akan mempengaruhi kejadian  $K_{t(4)}$ . Secara matematis, dapat ditulis sebagai berikut :

$$K_{t(j)} = K_{t(j-1)} \times P$$

Dimana :

$K_{t(j)}$  adalah peluang kejadian pada waktu  $t(j)$

$P$  adalah matriks peluang transisi

$t(j)$  adalah waktu ke-j

Peluang kejadian  $K_{t(j)}$  dinyatakan ke dalam bentuk vector sehingga jumlah seluruh elemennya akan selalu 100%. Peluang kejadian awal dinyatakan sebagai  $K_{t(0)}$  dan mengacu pada peluang keadaan tahun pertama. Perhitungan menggunakan Algoritma Markov Chains melibatkan langkah-langkah berikut :

- a. Membuat matriks peluang bencana (probabilitas transisi), yang didapat dari perbandingan antara jumlah bencana dengan total kejadian pada masing – masing bencana alam tiap tahun.
- b. Menentukan peluang kejadian awal bencana ( $K_{t(0)}$ ), yang mengacu pada peluang kejadian tahun pertama data yang akan digunakan.
- c. Memperkirakan kemungkinan bencana alam dapat dihitung sesuai dengan cara :

$$K_{t(j)} = K_{t(j-1)} \times P$$

- d. Melakukan validasi data, yaitu evaluasi atau perbandingan hasil prediksi dengan data uji yang telah ditentukan sebelumnya.

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data sekunder yang diperoleh dari berbagai instansi terkait di Indonesia yaitu Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kota Semarang, Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), Badan Pusat Statistik (BPS). Pengumpulan data dilakukan melalui beberapa tahapan yaitu studi literatur, pengambilan data sekunder dan verifikasi data.

Tahun	Banjir	Tanah Longsor	Puting Beliung	Kebakaran	Pohon Tumbang
2018	36	82	5	69	45
2019	18	83	20	102	45
2020	23	175	10	42	46
2021	88	146	37	46	78
2022	108	131	86	43	46

**Gambar 2. Data Bencana Kota Semarang tahun 2018 – 2022**

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang dipakai dalam penelitian ini adalah data tentang bencana alam yang diambil dari website resmi DPBD Kota Semarang, yaitu <https://bpbd.semarangkota.go.id/>, untuk periode tahun 2018 hingga 2022. Data tersebut tersaji dalam tabel di bawah.

Tahun	Banjir	Tanah Longsor	Puting Beliung	Kebakaran	Pohon Tumbang	Jumlah
2018	36	82	5	69	45	237
2019	18	83	20	102	45	268
2020	23	175	10	42	46	296
2021	88	146	37	46	78	395
2022	108	131	86	43	46	414

**Gambar 3. Data Bencana Kota Semarang tahun 2018 – 2022**

Berdasarkan data bencana yang disajikan dalam tabel di atas, terdiri dari beberapa jenis kejadian seperti Banjir (B), Tanah Longsor (TL), Puting Beliung (PB), Kebakaran (K), dan Pohon Tumbang (PT). Data tersebut perlu dielompokkan berdasarkan jenis kejadian bencana untuk setiap tahunnya. Data bencana dari tahun 2018 hingga 2022 akan digunakan sebagai data *training* untuk analisis Markov Chains.

Tahap awal melibatkan pembuatan matriks probabilitas bencana alam, yang dapat ditemukan dalam tabel berikut.

Tahun	B	TL	PB	K	PT	Jumlah
2018	0,15	0,35	0,02	0,29	0,19	1
2019	0,07	0,31	0,07	0,38	0,17	1
2020	0,08	0,6	0,03	0,14	0,15	1
2021	0,22	0,37	0,09	0,12	0,2	1
2022	0,27	0,32	0,2	0,1	0,11	1

Gambar 4. Tabel Peluang Bencana

Berdasarkan tabel peluang bencana diatas, maka diperoleh matriks data bencana sebagai berikut:

$$P = \begin{bmatrix} 0,15 & 0,35 & 0,02 & 0,29 & 0,19 \\ 0,07 & 0,31 & 0,07 & 0,38 & 0,17 \\ 0,08 & 0,60 & 0,03 & 0,04 & 0,15 \\ 0,22 & 0,37 & 0,09 & 0,12 & 0,20 \\ 0,27 & 0,32 & 0,20 & 0,10 & 0,11 \end{bmatrix}$$

Langkah selanjutnya adalah menentukan peluang kejadian awal bencana. Peluang kejadian awal bencana ( $K_{t(0)}$ ):

$$K_{t(0)} = [0,15 \quad 0,35 \quad 0,02 \quad 0,29 \quad 0,19]$$

Prediksi kemungkinan bencana pada tahun 2024 dapat dihitung dengan berdsarkan cara:

$$K_{t(1)} = K_{t(0)} \times P$$

$$= [0,15 \quad 0,34 \quad 0,02 \quad 0,30 \quad 0,19] \times \begin{bmatrix} 0,15 & 0,35 & 0,02 & 0,29 & 0,19 \\ 0,07 & 0,31 & 0,07 & 0,38 & 0,17 \\ 0,08 & 0,60 & 0,03 & 0,04 & 0,15 \\ 0,22 & 0,37 & 0,09 & 0,12 & 0,20 \\ 0,27 & 0,32 & 0,20 & 0,10 & 0,11 \end{bmatrix}$$

$$= [0,17 \quad 0,34 \quad 0,09 \quad 0,23 \quad 0,17]$$

Untuk membuat nilai probabilitas  $K_{t(1)}$  menjadi bentuk persen, maka hasil  $K_{t(1)}$  di kalikan dengan 100% sehingga diperoleh:

$$= [17\% \quad 34\% \quad 9\% \quad 23\% \quad 17\%]$$

Maka kemungkinan terjadi bencana alam di Kota Semarang pada tahun 2023 adalah Banjir sebesar 17%, Tanah Longsor sebesar 34%, Puting Beliung sebesar 9%, Kebakaran sebesar 23%, dan Pohon Tumbang sebesar 17%.

Setelah melakukan prediksi peluang bencana alam untuk tahun 2023, dilakukan validasi dengan membandingkan hasil prediksi tersebut dengan data aktual bencana alam pada tahun tersebut. Berikut adalah tabel perbandingan antara data bencana alam pada tahun 2023 yang diprediksi dengan data yang diperoleh dari DPBD Kota Semarang.

Kejadian	B	TL	PB	K	PT
Prediksi tahun 2023	0,17	0,34	0,09	0,23	0,17
Data bencana 2023	18	38	4	24	2
Peluang Bencana 2023	0,21	0,44	0,05	0,28	0,02

**Gambar 5. Tabel Perbandingan Bencana Tahun 2023**

Dapat diamati bahwa terdapat perbedaan yang cukup besar antara nilai prediksi dan data bencana alam tahun 2023 yang digunakan sebagai data uji (testing). Perbedaan yang paling mencolok terjadi pada kejadian tanah longsor. Prediksi untuk tanah longsor adalah 0,34 atau 34%, sementara data sebenarnya menunjukkan angka yang lebih rendah, yaitu 0,44 atau 44%. Meskipun ada perbedaan ini, nilai prediksi masih cukup mendekati angka sebenarnya. Untuk bencana banjir, prediksi mencapai 0,17 atau 17%, sedangkan data sebenarnya adalah 0,21 atau 21%. Meskipun ada perbedaan, nilai prediksi masih relatif dekat dengan angka aktual. Prediksi untuk puting beliung adalah 0,09 atau 9%, sementara data aktual adalah 0,05 atau 5%. Sedangkan untuk kejadian kebakaran, prediksi adalah 0,23 atau 23%, dan data aktual adalah 0,28 atau 28%. Meskipun terdapat perbedaan, nilai prediksi masih berada dalam kisaran yang dapat diterima. Terakhir, untuk bencana pohon tumbang, prediksi adalah 0,17 atau 17%, sementara data sebenarnya adalah 0,02 atau 2%. Perbedaan ini cukup besar, mungkin karena ketidakpastian cuaca dan perubahan pola angin yang sulit diprediksi dengan akurat.



**Gambar 6. Grafik Validasi Hasil Prediksi**

Setelah itu, akan ditentukan ketepatan Algoritma Markov Chains dengan mencari nilai error toleransi yang dapat diterima yang nantinya algoritma ini akan digunakan untuk nilai prediksi selanjutnya. Untuk hal ini, diperlukan nilai koefisien korelasi dan RSME. Berikut penentuan nilai koefisien korelasi dan RSME untuk penelitian ini:

Koefisien Korelasi( $r$ )

$$r = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2 \sum(Y_i - \bar{Y})^2}}$$

$$= \frac{(5 \times 0,1116) - (1,0 \times 1,05)}{\sqrt{[(5 \times 0,1159) - (1,0)^2][(5 \times 0,2874) - (1,05)^2]}} \approx 0,996$$

Root Mean Squared Error (RMSE)

$$RSME = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{5} (0,0016) + (0,01) + (0,0081) + (0,0025) + 0,0025} = \sqrt{0,00474} \approx 0,0689$$

Dengan begitu diperoleh nilai koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar 0,996 dan RSME sebesar 0,00689.

Koefisien korelasi ( $r$ ) 0,996 menunjukkan hubungan yang sangat kuat antara data prediksi dan data peluang. RMSE sebesar 0,0689 menunjukkan tingkat kesalahan prediksi yang rendah, menunjukkan model yang akurat dalam memprediksi data. Dengan demikian, model ini dapat dipertimbangkan untuk prediksi masa depan berdasarkan data yang ada.

Peramalan kejadian bencana alam di Semarang untuk tahun 2024 akan dilakukan menggunakan Algoritma Markov Chains. Peramalan untuk tahun 2024 dapat dihitung dengan mengalikan peluang kejadian pada tahun 2023 dengan peluang bencana yang sebelumnya.

$$K_{t(2)} = K_{t(1)} \times P$$

$$= [0,17 \quad 0,34 \quad 0,09 \quad 0,23 \quad 0,17] \times \begin{bmatrix} 0,15 & 0,35 & 0,02 & 0,29 & 0,19 \\ 0,07 & 0,31 & 0,07 & 0,38 & 0,17 \\ 0,08 & 0,60 & 0,03 & 0,04 & 0,15 \\ 0,22 & 0,37 & 0,09 & 0,12 & 0,20 \\ 0,27 & 0,32 & 0,20 & 0,10 & 0,11 \end{bmatrix}$$

$$= [0,15 \quad 0,36 \quad 0,09 \quad 0,23 \quad 0,17]$$

Agar mendapat nilai probabilitas  $K_{t(2)}$  menjadi bentuk persen, maka  $K_{t(2)}$  dikalikan dengan 100% sehingga memperoleh hasil

$$K_{t(2)} = [15\% \quad 36\% \quad 9\% \quad 23\% \quad 17\%]$$

sehingga kemungkinan terjadi bencana alam di Semarang pada tahun 2024 adalah Banjir sebesar 15%, Tanah Longsor sebesar 36%, Puting Beliung sebesar 9%, Kebakaran sebesar 23%, dan Pohon Tumbang sebesar 17%.

Peluang kejadian bencana alam yang mungkin terjadi pada tahun 2025 dapat dihitung dengan metode yang sama yang digunakan untuk meramalkan bencana alam pada tahun 2024 sebelumnya, yaitu dengan mengalikan peluang kejadian pada tahun 2024 dengan peluang bencana yang sebelumnya.

$$K_{t(3)} = K_{t(2)} \times P$$

$$= [0,15 \quad 0,36 \quad 0,09 \quad 0,23 \quad 0,17] \times \begin{bmatrix} 0,15 & 0,35 & 0,02 & 0,29 & 0,19 \\ 0,07 & 0,31 & 0,07 & 0,38 & 0,17 \\ 0,08 & 0,60 & 0,03 & 0,04 & 0,15 \\ 0,22 & 0,37 & 0,09 & 0,12 & 0,20 \\ 0,27 & 0,32 & 0,20 & 0,10 & 0,11 \end{bmatrix}$$

$$= [0,15 \quad 0,36 \quad 0,08 \quad 0,23 \quad 0,17]$$

Agar mendapat nilai probabilitas  $K_{t(3)}$  menjadi bentuk persen, maka  $K_{t(3)}$  dikalikan dengan 100% sehingga memperoleh hasil  $K_{t(3)} = [15\% \quad 36\% \quad 8\% \quad 23\% \quad 17\%]$

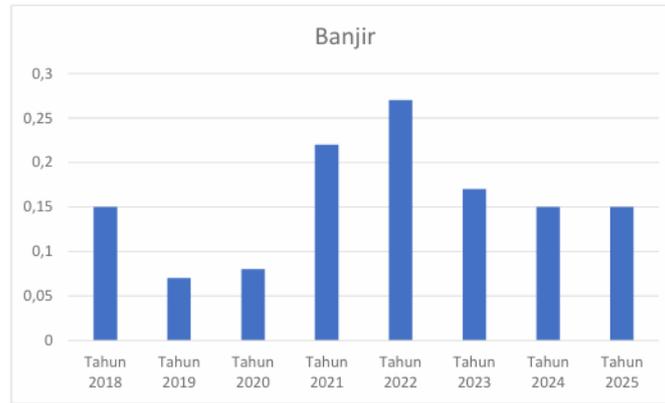
Sehingga kemungkinan terjadi bencana alam di Semarang pada tahun 2025 adalah Banjir sebesar 15%, Tanah Longsor sebesar 36%, Puting Beliung sebesar 8%, Kebakaran sebesar 23%, dan Pohon Tumbang sebesar 17%.

Berikut adalah tabel peluang kejadian bencana alam dari tahun 2018 hingga 2025, yang didapatkan dari hasil penyelesaian sebelumnya. Data kejadian dari tahun 2018 hingga 2022 merupakan data peluang aktual, sedangkan data kejadian dari tahun 2023 hingga 2025 merupakan hasil prediksi yang telah dilakukan.

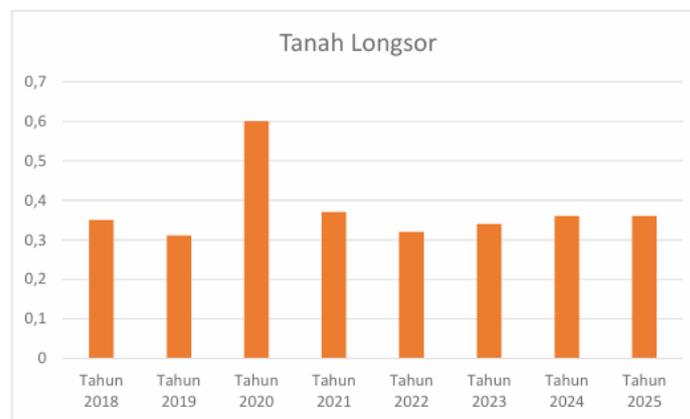
Kejadian	B	TL	PB	K	PT
Tahun 2018	0,15	0,35	0,02	0,29	0,19
Tahun 2019	0,07	0,31	0,07	0,38	0,17
Tahun 2020	0,08	0,60	0,03	0,14	0,15
Tahun 2021	0,22	0,37	0,09	0,12	0,20
Tahun 2022	0,27	0,32	0,20	0,10	0,11
Tahun 2023	0,17	0,34	0,09	0,23	0,17
Tahun 2024	0,15	0,36	0,09	0,23	0,17
Tahun 2025	0,15	0,36	0,08	0,23	0,17

**Gambar 7. Tabel Peluang Kejadian Bencana Alam dari Tahun 2018 hingga 2025**

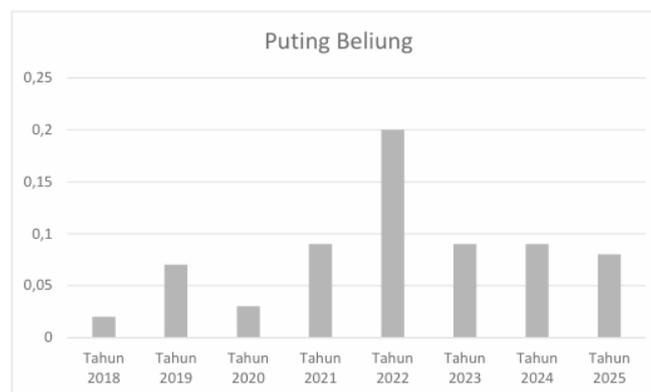
Dalam Markov Chains, peristiwa atau gerakan dari beberapa variabel di masa yang akan datang dapat diprediksi berdasarkan gerakan variabel tersebut pada masa lalu. Dalam hal peramalan kejadian bencana untuk tahun 2023 dan 2024, peluang kejadian bencana pada tahun 2023 dipengaruhi oleh kejadian bencana pada tahun 2022, sementara peluang kejadian bencana tahun 2022 dipengaruhi oleh kejadian bencana pada tahun 2021. Berikut ini adalah diagram yang menggambarkan pola peluang kejadian untuk setiap jenis bencana dari tahun 2018 hingga 2025.



**Gambar 8. Diagram Prediksi Bencana Banjir Tahun 2018-2025**



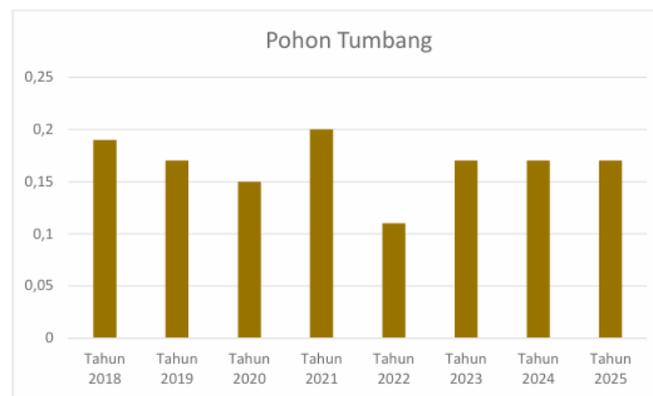
**Gambar 9. Diagram Prediksi Bencana Tanah Longsor Tahun 2018-2025**



**Gambar 10. Diagram Prediksi Bencana Puting Beliung Tahun 2018-2025**



**Gambar 11. Diagram Prediksi Bencana Kebakaran Tahun 2018-2025**



**Gambar 12. Diagram Prediksi Bencana Pohon Tumbang Tahun 2018-2025**

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa akurasi prediksi bencana cenderung tinggi berdasarkan nilai koefisien korelasi dan RMSE. Koefisien korelasi yang mendekati +1 dan RMSE yang rendah menunjukkan akurasi prediksi yang baik, dengan prediksi yang mendekati data aktual atau peluang untuk tahun yang akan datang.

## **KESIMPULAN DAN SARAN**

Analisis data bencana alam di Kota Semarang dari tahun 2018-2022 menghasilkan prediksi peluang bencana tahun 2023 menggunakan metode Markov Chains. Hasil prediksi menunjukkan peluang banjir 16%, tanah longsor 34%, puting beliung 10%, kebakaran 22%, dan pohon tumbang 17%. Saat dibandingkan dengan data aktual tahun 2023, terlihat bahwa prediksi untuk banjir dan kebakaran mendekati angka sebenarnya, masing-masing 18% dan 24%. Namun, ada perbedaan signifikan pada prediksi puting beliung dan pohon tumbang, yang mungkin disebabkan oleh variabilitas cuaca yang sulit diprediksi.

Meskipun ada kesesuaian dalam beberapa aspek, model prediksi ini masih perlu ditingkatkan untuk akurasi yang lebih baik, terutama dalam memperhitungkan faktor lingkungan yang dinamis dan sulit diprediksi.

Saran untuk peneliti selanjutnya ialah meningkatkan mode Markov Chains dengan memasukkan variable tambahan yang lebih dinamis, seperti perubahan iklim dan aktivitas manusia yang dapat mempengaruhi kejadian bencana.

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Kami mengucapkan terima kasih atas dukungan dan kontribusi orang sekitar dan sumber yang telah diberikan dalam mendukung penelitian kami. Bantuan kalian sangat berarti dan telah memungkinkan kami untuk mencapai hasil yang signifikan.

## **DAFTAR REFERENSI**

- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). (2022). Data iklim dan cuaca Kota Semarang. Jakarta: BMKG.
- Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kota Semarang. (2023). Laporan tahunan kejadian bencana Kota Semarang. Semarang: BPBD.
- Chaidir, C., & Tuharea, N. D. (2022). Analisa perbandingan data pasang surut dengan metode koefisien korelasi dan RMSE antara data IOC sealevelmonitoring dan data program NAOtid. *Riset Sains dan Teknologi Kelautan*, 84–89.
- Hidayati, N., Pungkasanti, P. T., & Wakhidah, N. (2021). Prediksi bencana alam di Kota Semarang menggunakan algoritma Markov Chains. *Jurnal Sains Dan Informatika*, 7(1), 107–116. <https://jsi.politala.ac.id/>
- Nawangsari, S., Iklima, F. M., & Wbowo, E. P. (2021). Konsep Markov Chains untuk menyelesaikan prediksi bencana alam di wilayah Indonesia dengan studi kasus Kotamadya Jakarta Utara. *Jurnal Skripsi Program Studi Teknik Informatika, Universitas Muhammadiyah Surakarta*.
- Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana Nomor 3 (2008).
- Purwanto, A. (2020). Analisis rantai Markov dalam prediksi bencana alam. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Ramadhan, M. I., & Prihandoko, P. (2019). Penerapan data mining untuk analisis data bencana milik BNPB menggunakan algoritma K-means dan linear regression. *Jurnal Ilmiah Informatika Komputasi*, 22(1), 57–65.
- Sudiby, D. (2019). Mitigasi bencana di Indonesia: Teori dan praktik. Bandung: ITB Press.